

H. LIIDEMAA

# SOOJUSE RINGVOOL LUMIKATTES

С РЕЗЮМЕ:  
ТЕПЛООБМЕН СНЕГОВОГО  
ПОКРОВА



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“



EESTI NSV TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED  
УЧЁНЫЕ ЗАПИСКИ ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS

FÜÜSIKA JA KEEMIA

1

ФИЗИКА И ХИМИЯ

H. LIIDEMAA

# SOOJUSE RINGVOOL LUMIKATTES

С Р Е З Ю М Е:  
ТЕПЛООБМЕН СНЕГОВОГО  
ПОКРОВА



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“  
TARTU, 1946

TRÜ GEOFÜÜSIKA KATEEDER  
Juhataja: dots. H. M Ü R K.

„TOIMETISTE“ KOLLEEGIUM: dots. E. TALVIK, prof. A. VALDES,  
prof. K. ORVIKU, dots. A. VASSAR, prof. J. TEHVER, dots. A. MUUGA.  
PEATOIMETAJA: dots. K. TAEV, TOIMETAJA: dots. R. KLEIS

Alljärgnevas töös käsitletakse temperatuuri jaotust lumikattes ning lahendatakse mõningad teised sellega ühenduses olevad küsimused.

Arvutuste aluseks on vaatlused, mida toimetati autori poolt Tartu Riikliku Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumi vaatlusaias 1936./37., 1937./38., 1938./39., 1939./40. ja 1940./41. aasta talvel. Selleks mõõdeti kaks korda päevas, nimelt kell 8 ja kell 13 kohaliku aja järgi, õhu ja lumikatte temperatuuri, lume tihedust ja muid meteoroloogilisi elemente. Arvutustest on välja jäetud need päevad, mil esines mõlemal vaatlusajal sula või millal lumikate oli ajutiselt liiga madal. Kasutatud päevade koguarv on 151.

1936./37. ja 1937./38. a. talvel esines 20—30 cm kõrgune lumikate, mis püsis üksikute vaheaegadega 1—2 kuud. 1938./39. a. talv oli väga pehme (jaanuari keskmine temperatuur  $-5,4^{\circ}$ , veebruari keskmine temperatuur  $-0,3^{\circ}$  ja märtsi keskmine temperatuur  $-1,9^{\circ}$ ), lumikate püsis võrdlemisi lühikest aega ja tema maksimaalne kõrgus oli ainult 16 cm. Viimane talv on arvutustes täielikult välja jäetud. Kaks järgmist talve olid nimetatud vaatluste toimetamiseks küllalt soodsad, nimelt külmad, ja lumikate püsis pikemat aega. Nende talvede temperatuuriolude iseloomustamiseks olgu esitatud üksikute kuude keskmised õhutemperatuurid:

1940. a.	I	$-14,4^{\circ}$ ;	II	$-14,8^{\circ}$ ;	III	$-7,4^{\circ}$
1941. a.	I	$-13,6^{\circ}$ ;	II	$-8,2^{\circ}$ ;	III	$-4,7^{\circ}$

Nendel talvedel püsis pikemat aega 30—60 cm kõrgune lumikate, kusjuures 1939./40. a. talvel oli maksimaalseks kõrguseks 53 cm (esines märtsikuu keskel) ja 1940./41. a. talvel vastavalt 60 cm (esines märtsi lõpul).

Vaatlusteks tarvitatud termomeetrid asusid alatiselt lume sees järgnevatel kõrgustel arvates maapinnalt: esimene otse maapinnal (kõrgus 0 cm) ning järgnevad 5, 10, 15 cm kõrgusel jne. ja lõpuks veel üks termomeeter lumepinnal. Peale selle loeti mõlemal vaatlustähtaegadel õhutemperatuur termomeetritl, mis asus inglisonnis 2 m kõrgusel maapinnalt. Hommikustel vaatlusterminitel mõõdeti lume tihedust üksikute

Pentaad	Kuupäevad		Keskmine lumikatte			
			S ü g a v u s			
			0	5	10	15
1	19.—23. II	1937	— 2,2	— 2,6	— 2,5	— 2,0
2	24.—28. "	"	— 7,3	— 6,9	— 5,6	— 3,8
3	1.—5. III	"	— 7,8	— 8,0	— 7,8	— 7,1
4	6.—10. "	"	— 3,8	— 3,6	— 3,7	— 3,2
5	11.—13. "	"	— 6,4	— 6,4	— 6,2	— 4,2
6	6.—10. XII	"	—12,3	—10,8	— 5,9	— 2,3
7	11.—15. "	"	— 5,7	— 5,3	— 3,8	— 2,1
8	16.—19. "	"	— 4,3	— 3,4	— 2,8	— 1,6
9	20.—24. "	"	— 8,5	— 7,6	— 6,2	— 4,9
10	28.—31. "	"	— 4,7	— 4,2	— 3,4	— 2,3
11	5.—9. I	1938	— 9,3	— 7,9	— 5,5	— 5,3
12	10.—14. "	"	— 8,5	— 7,7	— 5,6	— 5,4
13	19.—22. "	"	— 2,6	— 2,4	— 1,7	— 1,4
14	26.—30. I	1940	—10,0	— 8,1	— 6,4	— 5,7
15	31. I—4. II	"	—18,1	—13,7	—11,2	—10,5
16	5.—9. "	"	—19,5	—17,4	—13,9	—12,2
17	10.—14. "	"	—16,6	—15,2	—12,4	—10,7
18	15.—19. "	"	—18,6	—16,2	—13,4	—11,0
19	20.—23. "	"	—14,1	—12,7	—10,8	— 9,2
20	26. II—1. III	"	— 9,8	—10,1	— 8,5	— 6,3
21	2.—6. "	"	—11,1	—10,5	— 9,2	— 8,0
22	7.—11. "	"	— 6,6	— 6,1	— 5,3	— 4,7
23	12.—16. "	"	— 7,7	— 7,1	— 6,2	— 5,0
24	17.—21. "	"	—13,0	—11,4	— 9,8	— 8,1
25	23.—25. I	1941	—13,5	—10,7	— 8,8	— 7,0
26	26.—30. "	"	—15,8	—13,6	—10,3	— 8,7
27	31. I—4. II	"	—16,0	—14,5	—12,2	—10,3
28	5.—9. "	"	—14,9	—13,8	—11,6	—10,4
29	10.—14. "	"	— 5,0	— 4,4	— 4,0	— 3,6
30	15.—19. "	"	— 8,7	— 8,0	— 6,3	— 5,2

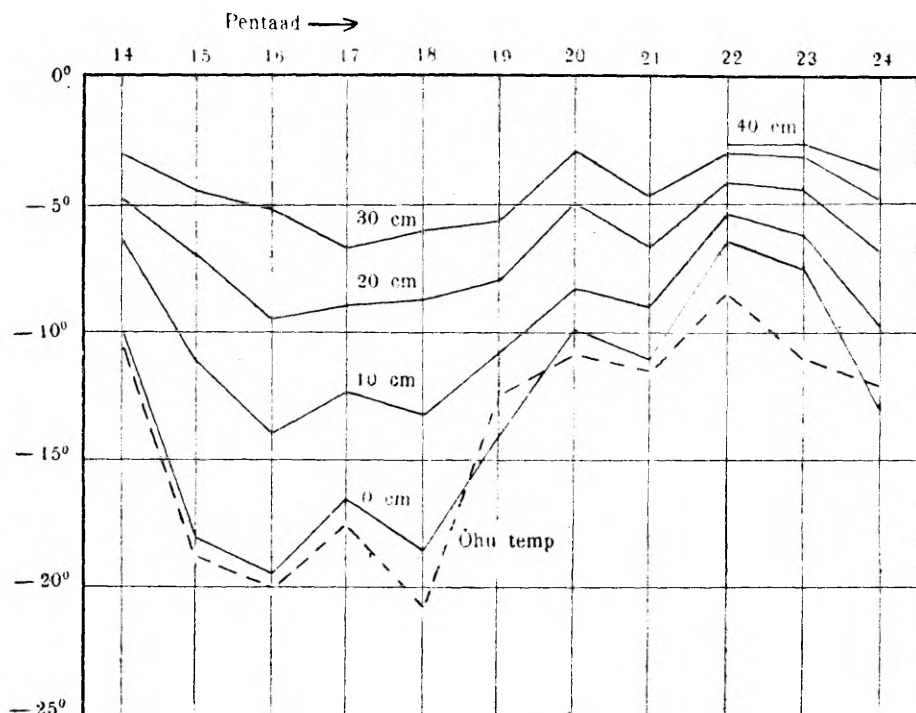
Tabel nr. 1.

õhu temperatuur.

temperatuur kell 8							Keskmine õhu- temperatuur
s e n t i m e e t r i t e s							
20	25	30	35	40	45	50	
—1,6							— 2,3
—2,0							— 8,1
—3,6							— 8,8
—2,6	—1,9						— 4,7
—3,1	—2,1						— 6,2
							—12,8
—1,0							— 6,0
—0,8							— 4,8
—2,6	—1,6						— 8,5
—1,4							— 5,0
—3,8	—2,6	—1,6					— 9,2
—3,5	—3,0	—1,8					— 8,5
—0,9	—0,6	—0,2					— 2,5
—4,8	—3,9	—3,1					—10,4
—7,1	—6,2	—4,5					—18,7
—9,5	—7,3	—5,2					—20,0
—9,0	—7,1	—6,8					—17,5
—8,8	—6,4	—6,1					—20,9
—8,0	—6,8	—5,7					—12,8
—5,0	—3,3	—3,0	—1,8				—11,0
—6,8	—5,5	—4,7	—3,4				—11,5
—4,2	—3,5	—3,2	—2,9	—2,8	—2,3		— 8,6
—4,5	—3,6	—3,3	—3,1	—2,7	—2,3		—11,1
—6,9	—6,6	—4,9	—4,3	—3,7	—3,2	—2,6	—12,1
—5,1	—3,9	—2,2					—15,6
—6,3	—5,3	—3,4	—2,9				—16,0
—9,2	—6,2	—5,3	—3,8				—16,2
—8,6	—7,4	—5,6	—4,8	—3,5			—15,2
—3,0	—2,7	—2,2	—1,9	—1,3			— 4,7
—4,2	—4,0	—3,0	—2,5	—1,6			— 9,3

10 cm paksuste kihtide jaoks. Et lumikatte soojeneb ja jahtub peamiselt ülemiste kihtide kaudu, on antud kõikides tabelites temperatuuriantmed järgnevate sügavuste jaoks, arvates lumikatte pinnalt: 0 cm, 5 cm, 10 cm jne.

Ruumipuudusel pole võimalik esitada kõiki vaatlusandmeid. Et aga siiski anda teatav arvustikuline ülevaade temperatuuri muutustest lumi-



Joon. 1. Temperatuuri käik lumikatte sees talvel 1939/40.

kattes, on arvutatud lumikatte ning võrdluseks ka õhu temperatuuri keskmised pentaadide kohta. Tulemused leiduvad tabelis nr. 1.

Parema ülevaate saamiseks on joonisel nr. 1 kujutatud graafiliselt lumikatte temperatuuri käik sügavustel 0, 10, 20, 30 ja 40 cm, samuti ka õhutemperatuuri käik talvel 1939./40. a. Rõhtteljel on kujutatud pentaadid (numeratsioon vastab tab. nr. 1), püstteljel aga temperatuurid. Nii tabelist kui ka joonisest selgub, et õhutemperatuuri langus või tõus kutsub samal ajal esile teatava sügavuseni ka lumikatte temperatuuri languse või tõusu.



Vahed õhu või lumepinna temperatuuri ja lumikatte all oleva maapinna temperatuuri vahel on võrdlemisi suured. Näiteks oli kõige külmemal pentaadil — 5.—9. II 1940. a. — keskmine lumepinna temperatuur —19,5°, keskmine temperatuur maapinnal lumikatte all aga —5,2°. Lumikatte kõrgus oli sel pentaadil 30 cm ümber. Nii oli seega lumikatte tõttu keskmine temperatuur maapinnal 14,3° võrra kõrgem kui lumepinnal. Veel suuremad vahed esinevad üksikutel päevadel. Näiteks oli 25. I 1941. a. kell 8 temperatuur lumepinnal —27,3°, maapinnal aga lumikatte all —2,0°, seega oli vastav vahe 25,3°. Lumikatte kõrgus oli sel päeval 38 cm.

Samad andmed näitavad, et temperatuuri muutused lumepinnal on võrdlemisi suured, vähenevad aga kaunis kiiresti sügavusega ja on maapinnal juba üsna väikesed. Näiteks oli 1939./40. a. talvel lumepinna temperatuuri maksimaalne pentaadi keskmine —6,6°, minimaalne pentaadi keskmine aga —19,5°, kuna lumikatte all oleva maapinna kohta olid vastavad pentaadi keskmised —1,8° ja —6,8°. Veel suuremad erinevused esinevad jällegi üksikutel päevadel. Nii oli samal talvel temperatuuri miinimum lumepinnal —30,2°, maapinnal lumikatte all aga —7,9°. Temperatuuri maksimum oli kummalgi juhul 0,0°, seega on amplituudid vastavalt 30,2° ja 7,9°. Esitatud andmeist selgub, kui suur mõju on lumikattel maapinna kaitsjana külmumise vastu. Lumikatte võrdlemisi halva soojusejuhtivuse tõttu on seega temperatuur lumikatte all alati tunduvalt kõrgem kui lumepinnal. Samuti jõuavad õhutemperatuuri tugevamad muutused ainult nõrgal kujul maapinnani, mille tõttu lumikatte all temperatuur on võrdlemisi ühtlane. Seega kaitseb lumikate taimestikku, samuti ka veetorstikku jne. tugevate külmade vastu.

Tabel nr. 2.

Keskmine lumikatte temperatuur mitmesugustel sügavustel.

Kell 8.

Kuu	Sügavus cm											Keskmine
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Detsember . . . .	— 5,2	— 4,6	— 4,0	—2,9	—1,8							—3,7
Jaauaar . . . . .	—11,0	—10,1	— 8,4	—7,0	—5,6	—4,4	—3,7	—3,3				—6,7
Veebruar . . . . .	—12,9	—11,8	—10,2	—8,7	—7,0	—6,5	—5,5	—4,1	—3,1			—7,8
Märts . . . . .	— 9,5	— 8,1	— 7,4	—6,4	—5,1	—4,6	—4,1	—3,7	—3,3	—3,0	—2,6	—5,3
Keskmine . . . . .	—10,8	— 9,7	— 8,4	—7,2	—5,7	—5,3	—4,6	—3,8	—3,2	—3,0	—2,6	—5,9

Kell 13.

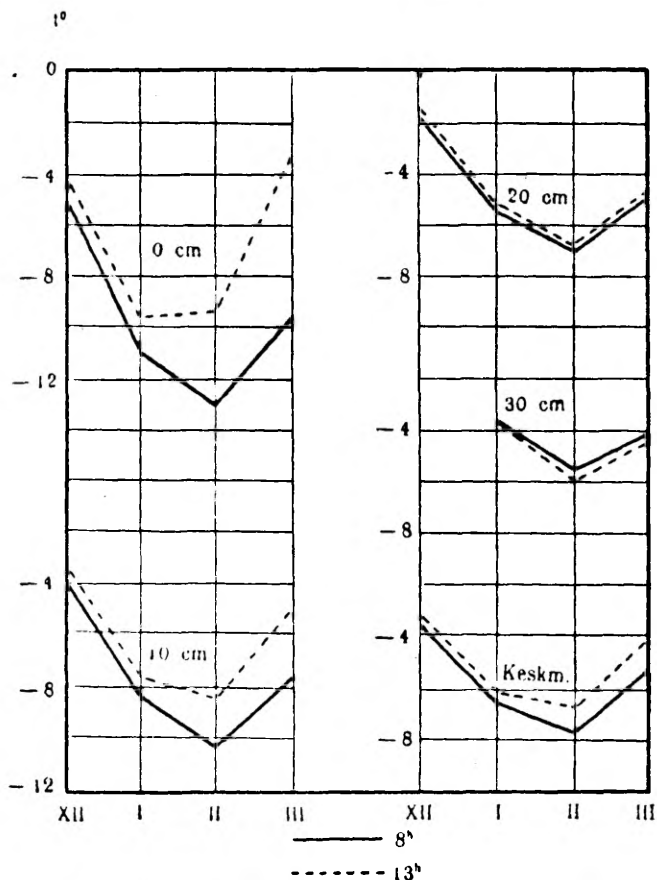
Kuu \ Sügavus cm												Keskmine
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Detsember . . . .	-4,1	-3,8	-3,4	-2,7	-1,7							-3,1
Jaanuar . . . . .	-9,6	-8,9	-7,7	-6,7	-5,5	-4,3	-3,7	-3,4				-6,2
Veebruar . . . . .	-9,4	-9,3	-8,6	-7,9	-6,8	-6,6	-5,7	-4,3	-3,4			-6,9
Märts . . . . .	-3,3	-4,3	-5,0	-5,2	-4,8	-4,5	-4,5	-3,9	-3,4	-3,2	-2,7	-4,1
Keskmine . . . . .	-6,9	-7,1	-6,8	-6,4	-5,5	-5,3	-4,9	-4,0	-3,4	-3,2	-2,7	-5,1

Tabelis nr. 2 on antud üksikute kuude ja kogu talve keskmised temperatuurid lumepinna, lumikatte mitmesuguste sügavuste ning kogu lumikatte jaoks kell 8 ja kell 13. Et kummalgi kellaajal toimetatud vaatluste andmed oleksid omavahel võrreldavad, on selle tabeli koostamisel tarvitatud ainult nende päevade vaatlusandmeid, mil temperatuur oli nii hommikuse kui ka lõunase vaatluse ajal alla 0°.

Joonisel nr. 2 on kujutatud keskmine temperatuuri kõik kuude viisi lumepinna ning sügavuste 10, 20, 30 cm kohta ja ka kogu lumikatte kohta. Rõhtsuunas on märgitud üksikud kuud, püstsuunas aga vastavad keskmised temperatuurid. Temperatuuri kõik kella 8 jaoks on antud pideva murdjoonega, temperatuuri kõik kella 13 jaoks aga katkelise murdjoonega.

Joonisest nähtub, et temperatuuridel kell 8 ja kell 13 lumepinnal ning kõikidel sügavustel on üsna selgesti väljakujunenud aastane käik (kuivõrd käesoleval korral üldse võib juttu olla aastasest käigust, sest meil on siin tegemist ainult nelja kuuga): detsembris on temperatuur kõige kõrgem, siis langeb ta miinimumini veebruaris ja hakkab hiljem jälle tõusma. Siinjuures olgu tähendatud, et üksikute lumekihtide keskmised temperatuurid kuni 25 cm sügavuseni kui ka üldised keskmised temperatuurid kogu lumikatte kohta on kell 13 kõrgemad kui kell 8, kusjuures eriti suured vahed esinevad lumepinnal ning vähematel sügavustel. Sügavusega need vahed vähenevad ja kaovad 25 cm sügavusel täiesti. 30—35 cm sügavusel võime tähele panna isegi vastupidist nähtust, nimelt temperatuur on kell 13 madalam kui kell 8. Samuti võib siin mainida, et nimetatud temperatuurivahed on vähemad neil kuudel, mil päikese kõrgus on väiksem, ja et need vahed kasvavad ühes päikese kõrguse suurenemisega ning on kõige suuremad märtsikuus. See nähtus on seletatav sellega, et päikese kõrgema seisuga korral (ühelt poolt keskpäeval, teiselt poolt kevadel) lumepind ning lumikatte ülemised kihid

soojenevad intensiivselt päikesekiirguse tõttu, öösi seevastu aga jahtuvad intensiivsemalt kui alumised kihid. Et temperatuuri muutused jõuavad sügavamatesse kihtidesse teatava hiline misega, siis jõuab ka öine temperatuuri miinimum sügavamatesse kihtidesse (sügavus suu-



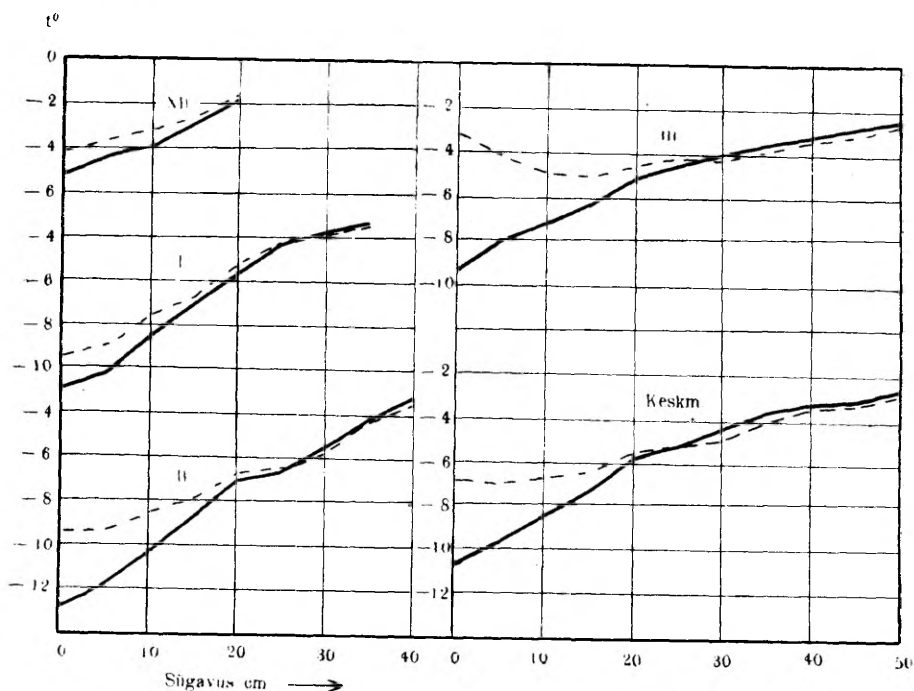
Joon. 2. Keskmine lumikatte temperatuuri aastane käik.

rem kui 30 cm) alles tunduvalt hiljem ja seetõttu võib temperatuur sügavamates lumekihtides lõuna ajal isegi madalam olla kui hommikul.

Joonisel nr. 3 on kujutatud eraldi üksikute kuude ja kogu perioodi keskmise temperatuuri muutumine sügavusega kell 8 (pidev joon) ja kell 13 (katkeline joon). Rõhtteljele on kantud sügavused sentimeetrites, püstteljele aga kuu keskmine temperatuur vastaval sügavusel.

Graafikuist nähtub, et hommikused temperatuurikõverad kõikidel kuudel sügavuse suurenedes tõusevad esialgu kaunis järsult, suurematel

sügavustel aga aeglasemalt. Sama iseloomuga on ka lõunased temperatuurikõverad külmematel kuudel. Erinev olukord on aga märtsikuus. Kell 13 siin temperatuur sügavuse suurenedes langeb. 15 cm sügavusest alates aga temperatuur tõuseb sügavuse suurenedes uuesti. 45 cm sügavusel on temperatuur ainult natuke kõrgem kui lumepinnal. Viimatimainitud nähtust võib seletada jällegi päikeseikiirguse intensiivsema mõjuga lumikatte ülemistele kihtidele kevadel.



Joon. 3. Keskmine lumikatte temperatuuri muutus sügavusega.

Joonisest nr. 3 selgub samuti nagu joonisest nr. 2, et temperatuurikõverad kella 13 jaoks on 25—30 cm sügavuseni kõrgemad kui kõverad kella 8 jaoks. Suurematel sügavustel aga esineb vastupidine nähtus. Samuti ilmneb ka siin asjaolu, et temperatuuri vahed hommikuste ja lõunaste vaatluste vahel on vähematel sügavustel tunduvalt suuremad kui suurematel sügavustel.

Et näidata päikeseikiirguse mõju lumikatte ülemistele kihtidele, selleks on arvutatud eraldi iga kuu jaoks keskmised temperatuuride erinevused kell 8 ja kell 13 mitmesuguste pilvitushulkade jaoks. Selleks on esmalt arvutatud üksikute päevade jaoks keskmised pilvitused vaat-

lusandmetest kell 7, 10 ja 13. Edasi on rühmitatud päevad pilvituste järgi järgnevalt: päevad nõrga pilvitusega (keskmise pilvitus  $0/_{10}-2/_{10}$ ), päevad keskmise pilvitusega (keskmise pilvitus  $3/_{10}-7/_{10}$ ) ja päevad tugeva pilvitusega (keskmise pilvitus  $8/_{10}-10/_{10}$ ). Temperatuuri tõus kella 8-st kuni kella 13-ni on arvatud iga mainitud rühma jaoks eraldi (tabel nr. 3). Seejuures on detsember täiesti välja jäetud, sest sel kuul esinesid peamiselt ainult tugevad pilvitused. Jaanuaris puudus peaaegu täiesti keskmine pilvitus — ka sellele pilvitusele vastavad andmed jaanuarikuu kohta puuduvad tabelis nr. 3.

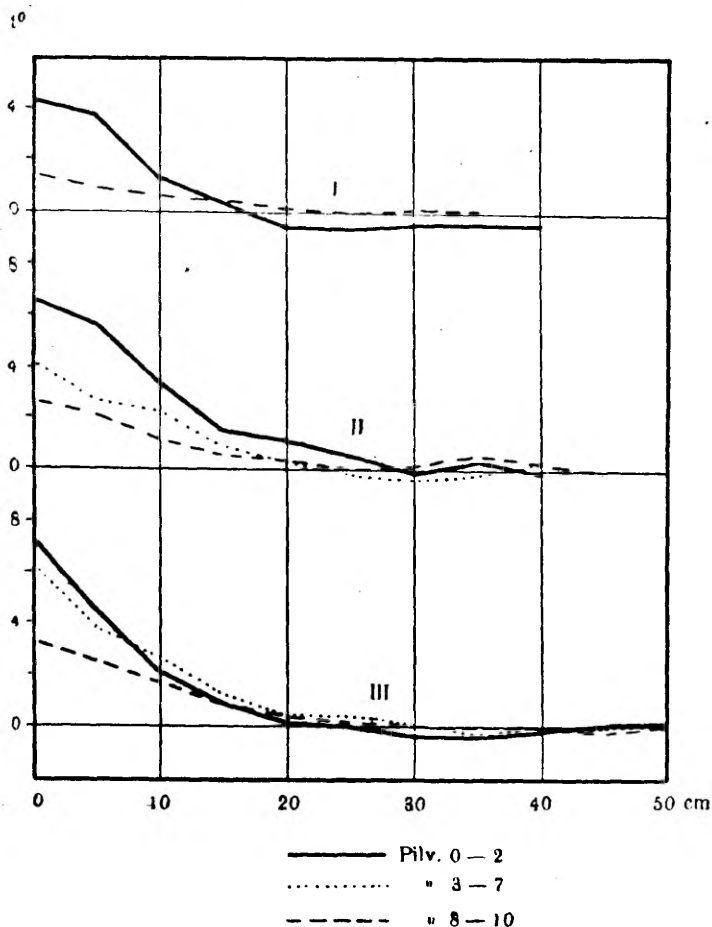
Tabel nr. 3.

Keskmsed temperatuuridiferentsid kella 8-st kuni kella 13-ni ( $t_{13}-t_8$ ).

Kuu	Sügavus cm Pilvitus											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Jaanuar . .	0—2	4,4	3,8	1,3	0,4	—0,5	—0,6	—0,4	—0,4	—0,4		
	8—10	1,5	1,0	0,6	0,4	0,2	0,0	0,1	0,1			
Veebruar .	0—2	6,6	5,6	3,2	1,4	1,0	0,4	—0,2	0,2	—0,2		
	3—7	4,1	2,6	2,2	0,8	0,4	—0,2	—0,4	—0,2	0,1		
	8—10	2,7	2,1	1,1	0,5	0,3	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	
Märts . . .	0—2	7,1	4,4	2,2	0,9	0,1	0,0	—0,4	—0,4	—0,2	0,0	0,1
	3—7	6,2	3,8	2,6	1,1	0,4	0,3	0,0	—0,4	—0,1	—0,3	—0,1
	8—10	3,2	2,5	1,7	1,0	0,3	0,1	0,0	—0,1	—0,1	—0,2	0,0

Joonis nr. 4 esitab temperatuuri keskmist vahet kell 8 ja kell 13 mitmesugustel sügavustel iga pilvitushulga jaoks eraldi. Horisontaalteljel on märgitud sügavused cm-tes, vertikaalteljel aga temperatuuride vahed. Tabelist nr. 3, samuti joonisest nr. 4 nähtub, et vähema pilvituse korral, mil päikesekiirgus eriti mõjule tuleb, on päevane lumikatte soojenemine tunduvalt suurem kui keskmise ja suure pilvituse korral. Eriti hästi tuleb see nähtavale veebruari- ja märtsikuus umbes 15 cm sügavuseni. Mõlemal kuul on temperatuuri keskmine tõus lumepinnal nõrga pilvituse korral ( $0/_{10}-2/_{10}$ )  $3,9^{\circ}$  võrra kõrgem kui temperatuuri tõus tugeva pilvituse korral ( $8/_{10}-10/_{10}$ ). Suurematel sügavustel (sügavus  $> 15$  cm) on mainitud nähtus vähem välja kujunenud. Maapinna lähedal, jaanuarikuus isegi 15 cm sügavusel, on aga olukord hoopis vastupidine, see tähendab, et temperatuur hommikust kuni lõunani isegi langeb, mis on tingitud öise temperatuurimiinimumi hilinemisest.

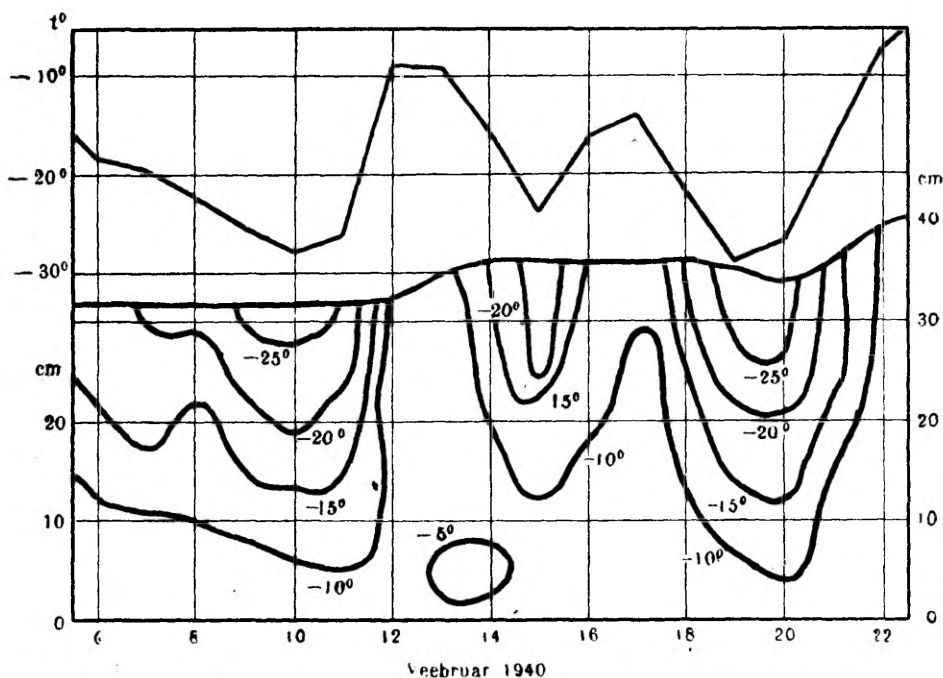
Eriti head ülevaadet temperatuuri jaotusest ja õhutemperatuuri muutuste levimisest lumikattes pakuvad lumikatte temperatuuri isopleedid. Et isopleetide joonestamine ruumipuudusel pole läbiviidav kogu vaatlusteks kasutatud perioodi jaoks, on joonisel nr. 5 esitatud



Joon. 4. Temperatuuri muutus kella 8-st kuni kella 13-ni mitmesugustel pilvitustel.

isopleedid ainult ühe üksiku külma ajavahemiku — 6.—22. II 1940. a. kohta. Horisontaalsuunas on võetud kuupäevad, vertikaalsuunas aga lumikatte kõrgus, kusjuures isopleedid on joonestatud 5-kraadiste vahemikkude järel. Saadud kõveraid nimetatakse lumikatte termoisopleetideks. Võrdluseks on antud ka õhutemperatuuri käik antud ajavahemikul (ülemine kõver).

Õhutemperatuuri tõus või langus toob enesega kaasa ka lumikatte temperatuuri tõusu resp. languse, kusjuures joonis näitab selgesti, kuidas õhutemperatuuri muutused kanduvad lumikatte sügavamatesse kihtidesse. Nii toob näiteks õhutemperatuuri langus enesega kaasa isopleetide nihkumise allapoole ja õhutemperatuuri tõus — isopleetide nihkumise ülespoole, seega lumikatte termoisopleetid kulgevad õhu-



Joon. 5. Lumikatte temperatuuri isopleetid.

temperatuuri käigu kõveraga ligikaudu paralleelselt. Joonisest nähtub ka asjaolu, et õhutemperatuuri muutused levivad lumikattes 25 cm sügavuseni võrdlemisi kiiresti, suurematesse sügavustesse nad jõuavad aga märgatava hilinemisega — asjaolu, millest oli juttu varemgi.

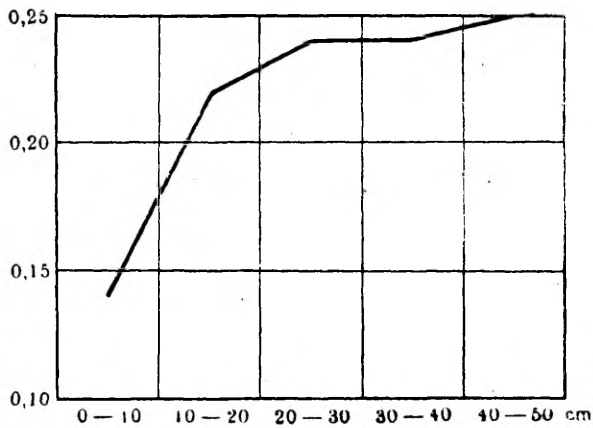
Et edaspidistes arvutustes võetaks arvesse ka lume tihedust, olgu siinjuures öeldud mõni sõna ka lume tiheduse kohta. On määratud üksikute kuude kui ka kogu perioodi keskmine lume tihedus nii kogu lumikatte kui ka üksikute kihtide (0—10 cm, 10—20 cm jne.) jaoks (tabel nr. 4).

Tabel nr. 4.

## Keskmine lume tihedus.

Kuu	Sügavus cm					Keskmine
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	
Detsember . . . . .	0,14	0,20	0,22			0,19
Jaauar . . . . .	0,13	0,22	0,25	0,21		0,20
Veebruar . . . . .	0,15	0,22	0,23	0,23		0,20
Märts . . . . .	0,15	0,22	0,26	0,27	0,25	0,22
Keskmine . . . . .	0,14	0,22	0,24	0,24	0,25	0,20

Joonisel nr. 6 on esitatud lume tiheduse muutumine lume sügavuse muutudes. Rõhtsuunas on võetud sügavused, vertikaalsuunas — lume tihedused. Nagu joonisest selgub, kasvab lume tihedus sügavuse muutudes algul kiiresti, hiljem aga aeglaselt. Lume tiheduse erinevused üksikutel kuudel nii kogu lumikatte kui ka mainitud kihtide jaoks on



Joon. 6. Lume tiheduse muutus sügavusega.

väga väikesed, kuigi ilmneb, et lume tihedus kevade poole üldiselt suureneb.

Edasi on arvatud lumikatte temperatuuri muutus 1 cm sügavuse kohta, s. o.  $-\frac{\Delta u}{\Delta x}$  (gradient), kus  $u$  on temperatuur kraadides,  $x$  aga sügavus cm-tes. Tabelis nr. 5 on esitatud arvutustulemused 10-sentimeetriste kihtide jaoks ja keskmine gradient kogu lumikattele, kusjuures kihid on võetud samal viisil nagu lume tihedusegi määramisel. Et tulemused üksikute kuude kohta erinevad vähe, on tabelis nr. 5 esitatud ainult keskmised andmed kogu vaatlusperioodist.



Keskmise temperatuurigradiendi lumikattes.

Kuu	Sügavus cm	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	Keskmine
	$-\frac{\Delta u}{\Delta x}$	0,20	0,25	0,23	0,11	0,07	0,21

Joonis nr. 7 esitab temperatuurigradiendi käigu lume sügavuse muutudes. Abstsisssteljele on kantud sügavused, ordinaatideks on aga temperatuurigradiendid. Algul gradient kasvab, peagi aga langeb aeglaselt, hiljem kiiresti.

On püütud kindlaks teha, millest oleneb mainitud temperatuurigradiendi. Selleks otstarbeks on arvatud rida korrelatsioonitegureid.



Joon. 7. Lumikatte temperatuuri gradiendi muutus sügavusega.

Esiteks on arvatud kõikide andmete põhjal korrelatsioonitegur temperatuurigradiendi absoluutse väärtuse ja õhutemperatuuri vahel, mis osutub  $-0,86 \pm 0,02$ . Edasi on arvatud korrelatsioonitegurid õhutemperatuuri ja lumikatte temperatuuri gradiendi absoluutse väärtuse vahel üksikute kihtide jaoks, mis osutusid järgnevaiks: 0- kuni 10-cm-lise kihi jaoks  $-0,86 \pm 0,03$ , 10- kuni 20-cm-lise kihi jaoks  $-0,83 \pm 0,03$  ja 20- kuni 30-cm-lise kihi jaoks  $-0,85 \pm 0,03$ . Seega esineb päris tugev korrelatiivne seos õhutemperatuuri ja temperatuurigradiendi vahel lumikattes. Võrdlemisi väikesed erinevused üksikute

korrelatsioonitegurite vahel osutavad sellele, et õhutemperatuuri mõju lumikatte temperatuuri gradiendile kõikide kihtide jaoks on ligikaudu sama.

Korrelatsioonitegur mainitud gradiendi absoluutse väärtuse ja lume tiheduse vahel on  $-0,26 \pm 0,07$ , mis näitab, et gradient oleneb teataval määral lume tihedusest, kuid seos pole kuigi tugev. Lume tihedus omalt poolt aga oleneb temperatuurist — korrelatsioonikoeffitsient lume tiheduse ja õhutemperatuuri vahel on  $0,27 \pm 0,07$ .

Kokkuvõttes võib öelda, et lumikatte temperatuuri gradiendi absoluutne väärtus on seda suurem, mida madalam on õhutemperatuur ja mida väiksem on lume tihedus.

Järgnevalt on täpsemalt uuritud küsimust, kuidas õhu ja lumepinna temperatuuri muutused kanduvad edasi lumikattes. Selleks on määratud iga päeva ja iga sügavuse jaoks temperatuuri vahe eelmise päeva kella 8-st kuni vaatluse all oleva päeva kella 8-ni. Seejuures on mainitud vahe loetud positiivseks, kui temperatuuri muutus toimus samas kui vastav muutus lumepinnalgi, ja negatiivseks, kui see muutus toimus vastupidises suunas, võrreldes muutusega lumepinnal. Tabel nr. 6 sisaldab mainitud 24-tunniste muutuste keskmisi, arvutatud eraldi lumikatte kõrgustele 20 cm, 30 cm, 40 cm ja 50 cm, ja viimases reas keskmisi 24-tunniseid muutusi, mis on arvutatud kõikide tehtud vaatluste põhjal. Nagu tabelist nähtub, vähenevad 24-tunnised temperatuuri muutused sügavusega, kusjuures see vähenemine toimub lumepinna lähedal võrdlemisi kiiresti, siis aga aeglasemalt ja umbes 35 cm sügavusel muutused võrduvad nulliga. Peale selle olgu öeldud, et temperatuuri muutused lumepinnal on tunduvalt suuremad kui õhutemperatuuri muutused 2 m kõrgusel, mis on seletatav kiirgamise suure mõjuga lumepinnale.

Tabel nr. 6.

Temperatuuride vahed eelmise päeva kella 8-st kuni käesoleva päeva kella 8-ni.

Lumikatte kõrgus cm	Sügavus cm											Õhus 2 m kõrgusel maapinnal
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
20	2,3	1,9	1,3	1,0	0,6							2,1
30	4,2	3,1	1,9	1,2	0,7	0,4	0,1					3,5
40	6,6	5,1	3,9	2,3	1,3	0,7	0,4	0,0	0,1			6,3
50	4,5	2,3	1,7	1,0	0,7	0,3	0,2	0,0	-0,1	0,1	0,0	3,6
Keskmine	4,4	3,2	2,3	1,4	0,9	0,5	0,3	0,0	-0,1	0,1	0,0	3,9

Käesolevas töös on püütud leida analüütilist väljendit seadusele, mille järgi toimub õhutemperatuuri muutuste ülekandumine lumikatte sisse.

Tabelis nr. 6 esitatud andmete põhjal on leitud empiirilisel teel temperatuuri muutuste võrrandid eraldi lumikatte kõrgustele 20, 30, 40 ja 50 cm ja lõpuks keskmiselt kõikide andmete jaoks.

T a b e l n r. 7.

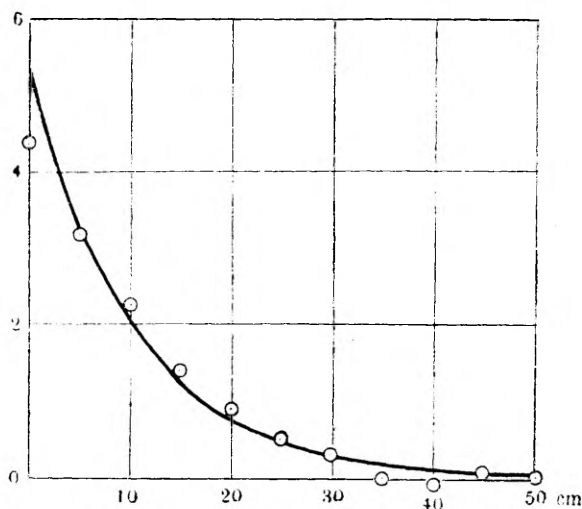
Lumikatte kõrgus cm	Võrrand 24-tunnise temp. vahe arvutamiseks	Keskmine viga
20	$y = 2,8e^{-0,08x}$	$\pm 0,2$
30	$y = 4,5e^{-0,10x}$	$\pm 0,2$
40	$y = 8,0e^{-0,10x}$	$\pm 0,6$
50	$y = 4,5e^{-0,10x}$	$\pm 0,2$
Keskmine	$y = 5,5e^{-0,10x}$	$\pm 0,4$

Tabel nr. 7 sisaldab 5 niisugust võrrandit. Nendes on  $y$  temperatuuri muutus 24 tunni jooksul (amplituud) sügavusel  $x$  cm,  $e$  — loomulikkude logaritmi alus. Nagu tabelist selgub, on  $e$  astendajal kõikides võrrandites (välja arvatud esimene madala lumikatte jaoks 20 cm) sama väärtus  $-0,10x$ . Võrrandid erinevad ainult kordajate poolest, mis annavad igas võrrandis vastava temperatuuriamplituudi lumepinnal. Võrrand, mis iseloomustab lumepinna temperatuuri amplituudide levimist suurematesse lumikatte sügavustesse, omab järgnevat üldkuju:  $y = ae^{-0,10x}$ , kus  $a$  on temperatuuriamplituud lumepinnal, kuna teistel sümbolitel on endine tähendus.

Saadud valemite abil on arvutatud temperatuuriamplituudid mitmesuguste sügavuste jaoks ja on leitud vahed arvutatud ning vaatlustest saadud amplituudide vahel. Tabelis nr. 7 on antud sel teel saadud keskmised ruutvead ( $\sigma = \sqrt{\frac{\epsilon^2}{n}}$ ). Viimased suurused näitavad, et leitud võrrandid annavad küllalt täpseid resultaate.

Joonisel nr. 8 on esitatud kõver, mis kujutab temperatuuriamplituudi muutumist sügavusega, vastena kõikide andmete jaoks leitud võrrandile  $y = 5,5e^{-0,10x}$ . Kõvera ümber asetsevate punktide ordinaatide väärtused esitavad vaatlustest saadud amplituude.

Temperatuuriamplituudide arvutamiseks leitud võrrandite põhjal võib lahendada mõningaid teisigi huvitavaid küsimusi. Näiteks võib nende abil arvutada lume soojusejuhtivuse koefitsienti. Soojusõpetuse põhjal muutuvad temperatuuriamplituudid sügavusega võrrandi  $y = ae^{-x\sqrt{\pi:\kappa\tau}}$  kohaselt, kus  $x$  on sügavus cm-tes,  $a$  ja  $y$  on amplituudid lumepinnal resp. sügavusel  $x$  cm,  $\kappa$  — keha temperatuurijuhtivus,  $\tau$  — perioodi pikkus,  $e$  — loomulikkude logaritmide alus. Kui kõrvutame viimast võrrandit võrrandiga  $y = 5,5e^{-0,10x}$ , mis on lei-



Joon. 8. 24-tunniste temperatuuriamplituudide muutus sügavusega.

tud kogu vaatlusmaterjali põhjal 24-tunniste amplituudide jaoks, siis saame seose  $\sqrt{\pi:\kappa\tau} = 0,10$ . Arvutades viimasest temperatuurijuhtivuse koefitsiendi, saame väärtuse  $\kappa = 0,0036$ . Nagu teada, on  $\kappa = \frac{k}{c\rho}$ , kus  $k$  on soojusejuhtivuse koefitsient,  $c$  — aine erisoojus,  $\rho$  aga aine tihedus. Kui asetame  $\rho$  asemele tabelist nr. 4 saadud keskmise väärtuse 0,20,  $\kappa$  asemele saadud suuruse 0,0036 ja  $c$  asemele 0,5 (lume erisoojus tihedusel 0,2 Hann'i <sup>1)</sup> järgi), siis osutub lume soojusejuhtivus  $k = 0,0003$  (sek., cm) või 0,018 (min., cm). Hann'i <sup>2)</sup> järgi on vastav suurus 0,016 (min., cm).

<sup>1)</sup> Hann, Lehrbuch der Meteorologie, 1915, lk. 782.

<sup>2)</sup> Sealsamas.

Lumikatte temperatuurijuhtivuse koefitsienti võib määrata ka amplituudide  $y'$  ja  $y''$  suhtest sügavustel  $x'$  resp.  $x''$ , s. o. võrrandist  $y' : y'' = e^{(x'' - x') \sqrt{\pi \cdot \kappa \tau}}$ . Kui amplituudid teatavatel sügavustel on tuntud, võib leida  $\kappa$  väärtuse. Arvutades 24-tunniste amplituudide suhted sügavuste 0 ja 5 cm resp. 5 ja 10 cm jne. kohta, osutub nende suhete keskmiseks arv 1,6. Asetades saadud väärtuse viimasesse võrrandisse, saame temperatuurijuhtivuse koefitsiendiks arvu 0,0041 — väärtus, mis vähe erineb varem saadud suurusest. Võrrandist  $y = 5,5e^{-0,10x}$  võime ka arvutada, missuguse sügavuseni tungivad lumepinna temperatuuri muutused lumikattes, teiste sõnadega, võime leida sügavuse, kus amplituud on null. Praktiliselt tuleb määrata sügavus, kus amplituud on küllalt väike, näiteks 0,1<sup>0</sup>. Selleks asetame nimetatud võrrandisse  $y$  asemele arvu 0,1 ja arvutame  $x$  väärtuse. Arvutused näitavad, et lumepinna temperatuuri muutused kanduvad 40 cm sügavuseni.

Samuti nagu 24-tunnised temperatuuri muutused, on arvutatud iga päeva ja iga sügavuse jaoks temperatuuri muutused ka kella 8-st kuni kella 13-ni, samuti kella 13-st kuni järgmise päeva kella 8-ni. Nimetatud muutustest on võetud keskmised, mis on esitatud tabelis nr. 8.

Tabel nr. 8.

Tempera- tuuri muutus	Sügavus cm										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Temperatuuri muutus kl. 8-st — kl. 13-ni . . . . .	3,3	2,4	1,4	0,7	0,3	0,0	—0,1	—0,1	0,0	—0,2	0,0
Temperatuuri muutus kl. 13-st — kl. 8-ni . . . . .	4,0	2,9	2,0	1,1	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	—0,1	0,0
Keskmine . . . . .	3,6	2,6	1,7	0,9	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	—0,2	0,0

Esimeses ja teises reas on antud viimatimainitud muutuste väärtused ja kolmandas — nende aritmeetilised keskmised. Kolmanda rea andmed esitavad meile ligikaudu keskmisi ööpäevaseid temperatuuriamplituude lumikatte mitmesuguste sügavuste jaoks, tingituna õhutemperatuuri ööpäevastest muutustest.

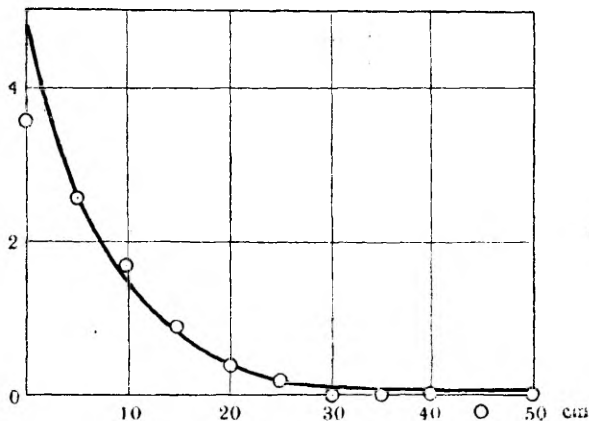
Ka need amplituudid on lumepinnal küllalt suured, aga vähenevad sügavusega ja muutuvad umbes 30 cm sügavusel nulliks. Viimastest andmetest on leitud analoogiliselt varem käsitletuga amplituudi võrrand  $y = 4,7e^{-0,12x}$ . Kui selle võrrandi abil arvutada amplituude ja

viimaseid võrrelda vaatlustest otsesel teel saadud andmetega, saame keskmise vea 0,5%. Seega on 12-tunniste amplituudide arvutamisel tekkinud vead suuremad kui 24-tunniste amplituudide arvutamisel.

Joonisel nr. 9 on esitatud viimase võrrandi põhjal arvutatud keskmiste 12-tunniste amplituudide käik. Kõvera ümber asetsevad punktid vastavad otsestest vaatlustest saadud amplituudidele.

Samuti nagu 24-tunniste amplituudide puhul, võime ka siin arvutada sügavuse, milleni tungivad 12-tunnised temperatuuriamplituudid.

Võrrandist  $y = 4,7e^{-0,12x}$  leiame sellise sügavusena 32 cm. Nii



Joon. 9. 12-tunniste temperatuuriamplituudide muutus sügavusega.

24-tunniste kui ka 12-tunniste temperatuuriamplituudide maksimaalsete sügavuste jaoks oleme saanud natuke suured väärtused (40 cm resp. 32 cm). Vaatlusandmetest (tabelid nr. 6 ja nr. 8) saadud vastavad sügavused on ligikaudu 35 cm ja 30 cm. Mainitud asjaolu on seletatav sellega, et võrrandile vastav eksponentsiaalkõver läheneb väga aeglaselt abstsisssteljele ja puutub viimasega lõpmatu kaugel, kuna otseste vaatluste põhjal joonestatud kõver lõikub abstsisssteljega juba vähema sügavuse väärtusel.

Soojusõpetuse üldist mõttekäiku keha soojusejuhtivuse kohta võib heade tagajärgedega rakendada ka käesoleva töö vaatlusmaterjalile. Soojusejuhtivus allub võrrandile  $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{c\rho} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ , kus  $u$  tähendab temperatuuri,  $t$  — aega,  $\frac{k}{c\rho}$  temperatuurijuhtivust ja  $x$  sügavust. Antud juhtumil on  $\frac{k}{c\rho} = 0,0036$  ja viimane võrrand omab kuju

$\frac{\partial u}{\partial t} = 0,0036 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ . Et näidata selle võrrandi kehtivust uuritava probleemi kohta, määrame esiteks tabeli nr. 6 viimase rea andmete alusel kõikide lumikatte kihtide keskmise 24-tunnise temperatuuriamplituudi, mis osutub  $1,86^\circ$ . Temperatuuri muutus ühe sekundi kohta on seega 0,0000215. Teiseks arvutame suuruse  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ . Viimane on temperatuurigradiendi muutus sügavusega, mida arvutame jällegi tabelis nr. 6 leiduvate andmete põhjal: määrame temperatuurigradiendi 1 cm kohta, siis aga nende gradientide vahed.  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$  jaoks saame väärtuse 0,006. Seega oleks antud võrrandi parem pool  $0,0036 \cdot 0,006 = 0,0000216$ . Sooritatud arvutused näitavad, et üldise soojusteooria mainitud võrrandi rakendamine käesoleva tööga esitatud vaatlusmaterjalile annab täiesti rahuldavaid tulemusi.

Et kindlaks teha, missuguse sügavuse temperatuurimuutused olenevad kõige rohkem õhutemperatuuri muutustest, on arvutatud korrelatsioonitegurid temperatuuri muutuste vahel lumepinnal ja mitmesugustel sügavustel lumikatte sees. Arvutustest saame ka kujutluse sügavusest, milleni levivad pinnatemperatuuri kõikumused.

T a b e l n r. 9.

$r_{0,10}$	$r_{0,20}$	$r_{0,30}$	$r_{0,40}$
$0,70 \pm 0,03$	$0,42 \pm 0,06$	$0,13 \pm 0,08$	$-0,19 \pm 0,15$

Tabelis nr. 9 on antud mainitud korrelatsioonitegurid ja vastavad keskmised vead, kusjuures  $r_{0,10}$  on korrelatsioonitegur 24-tunniste temperatuuri muutuste vahel lumepinnal ja 10 cm sügavusel,  $r_{0,20}$  — korrelatsioonitegur temperatuuri muutuste kohta lumepinnal ja 20 cm sügavusel jne. Nagu tabelist nähtub, vähenevad korrelatsioonitegurid kiiresti sügavusega: 10-cm-lise sügavuse jaoks on nimetatud tegur 0,70, 30 cm jaoks ainult 0,13 ja 30 ja 40 cm vahel on ta arvatavasti null. Ka neist arvutustest selgub, et lumikatte pinnatemperatuuri kõikumused levivad lumikatte sisse umbes 35 cm sügavuseni ja et lumikatte sügavamate kihtide temperatuurimuutused pole enam seotud samaajaliste pinnatemperatuuride muutustega. Arvutades korrelatsioonitegureid pinnatemperatuuri enda ja sügavustemperatuuride vahel selgub, et korrelatsiooni seos on kaunis tugev igasugustel sügavustel. Tabel nr. 10 sisaldab mainitud korrelatsioonitegureid ja vastavaid keskmisi vigu.

Tabel nr. 10.

$r_{0,10}$	$r_{0,20}$	$r_{0,30}$	$r_{0,40}$
$0,97 \pm 0,00$	$0,91 \pm 0,01$	$0,82 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,10$

Siin on  $r_{0,10}$  korrelatsioonitegur pinnatemperatuuri ja temperatuuri kohta 10 cm sügavusel,  $r_{0,20}$  — korrelatsioonitegur pinnatemperatuuri ja 20 cm sügavusel valitseva temperatuuri kohta jne. Tabelist selgub, et korrelatsioonitegurid sügavuse suurenedes küll vähenevad, kuid omavad siiski lõpuni küllalt suuri väärtusi.

Nagu nähtub tabelleist nr. 1 ja nr. 2 ning samuti vastavaist jooni-seist, suureneb lumikatte temperatuur, nagu juba korduvalt mainitud, sügavusega ja seetõttu on ka lumega kaetud maapinnal tunduvalt kõrgem temperatuur kui paljal maapinnal. Teisiti öeldes: lumikattel on suur tähtsus maapinna kaitsjana talvise jahutamise vastu. Lumikatte mainitud kaitsevõime iseloomustamiseks võiks praktiliselt tarvitada lumikatte all oleva maapinna ja lumikatte pinnatemperatuuri vahet. Nimetatud temperatuuride vahe kella 8 jaoks on keskmiselt  $8,2^{\circ}$  (vt. tabelit nr. 2). Üksikutel päevadel, eriti päevadel madala õhutemperatuuriga, on need vahed tunduvalt suuremad, kusjuures nende vahede maksimum on  $25,3^{\circ}$ .

Järgnevas on püütud selgitada, missugustest teguritest oleneb mainitud kaitsevõime. Selleks otstarbeks on leitud iga päeva kella 8 jaoks lumikatte all oleva maapinna temperatuuri ja lumikatte pinna temperatuuri vahe. Edasi on leitud korrelatsioonitegurid nimetatud diferentsi ja õhutemperatuuri kohta, mis esines kell 8 samal päeval, päev varem, kaks päeva varem. Nimetatud korrelatsioonitegurite suurus on järjekorras järgmised:

$$r_1 = -0,95 \pm 0,01; \quad r_2 = -0,59 \pm 0,04; \quad r_3 = -0,34 \pm 0,07.$$

Saadud korrelatsioonitegureist selgub, et lumikatte kaitsevõime oleneb väga suurel määral õhutemperatuurist, kusjuures lumikatte all ja lumikatte peal esinevate temperatuuride vahed on seda suuremad, mida madalam on õhutemperatuur. Seega moodustab lumikatte eriti hea kaitse kõige külmemal talveperioodil — asjaolu, mis on praktiliselt erilise tähtsusega. Siinjuures olgu tähendatud, et esimeses järjekorras on mõõduandev vaatluse ajal valitsev õhutempera-



tuur (korrelatsioonitegur  $r_1 = -0,95 \pm 0,01$ ). Aga ka eelmise päeva õhutemperatuur on tähtis, mida näitab küllalt suur korrelatsioonitegur  $r_2 = -0,59 \pm 0,04$ . Vähem on korrelatsioonitegur nimetatud vahe ja kaks päeva varem mõõdetud õhutemperatuuri kohta ( $r_3 = -0,34 \pm 0,07$ ), aga ka see on siiski suurus, mida tuleb arvestada. Viimane korrelatiivne seos näitab, kui tugev on viimaste päevade ilmastiku üldine mõju.

Mainitud temperatuurivahe ja lumikatte kõrguse kohta arvutatud korrelatsiooniteguri väärtus  $0,26 \pm 0,06$  näitab, et nende suuruste vahel on küll olemas teatav korrelatiivne seos, kuid see pole kuigi tugev. Siinkohal olgu öeldud, et temperatuurivaatlused on toimetatud enamasti lumikattes kõrgusega 20—40 cm ja kõrguse muutused nendes piirides ei avalda nimetamisväärset mõju varem nimetatud temperatuuride vahele, kuigi viimane on üldiselt seda suurem, mida kõrgem on lumikate.

Korrelatsioonitegur mainitud temperatuurivahe ja lume tiheduse kohta on  $-0,22 \pm 0,07$ , mis tähendab, et temperatuuri vahe on seda suurem, mida väiksem on tihedus, s. o. mida kergem on lumi.

Käesolevas töös on uuritud lumikatte soojusnähtusi ja on jõutud järgmistele tulemustele:

1. Temperatuur lumikattes sügavuse suurenedes tõuseb. Temperatuuri muutused vähenevad sügavusega ja jõuavad sügavamatesse lumikatte kihtidesse teatava hilinemisega.

2. Lume tihedus sügavusega kasvab, lumikatte temperatuuri gradiendi absoluutne väärtus aga üldiselt sügavuse suurenedes väheneb, kusjuures gradiendi suurus oleneb peamiselt õhutemperatuurist ja vähemal määral ka lume tihedusest.

3. Lumikatte pinnatemperatuuri muutused kanduvad edasi lumikatte sisse seaduse  $y = ae^{-x\sqrt{\pi:\kappa t}}$  kohaselt ja ulatuvad 30—40 cm sügavuseni.

4. Lume temperatuurijuhtivuse koefitsient on  $\kappa = 0,0036$  ja lume soojusejuhtivuse koefitsient  $k = 0,0003$ .

5. Lumikatte kaitsevõime on seda suurem, mida madalam on õhutemperatuur; kaitsevõime oleneb peamiselt õhutemperatuurist antud momendil, vähemal määral aga ka üldistest temperatuurioludest viimastel päevadel.

# Теплообмен снегового покрова.

## Резюме.

В данной работе исследуется вопрос теплообмена в снеговом покрове на основании пятилетних наблюдений, произведённых автором в саду Метеорологической Обсерватории Тартуского Государственного Университета. Два раза в день (в 8 часов и в 13 часов по местному времени) отсчитывались температуры снегового покрова при помощи термометров, установленных на различной высоте: на поверхности почвы, на высоте 5 см., 10 см., 15 см. и т. д. и, наконец, на поверхности снегового покрова. Одновременно наблюдалась температура воздуха, плотность снега для слоёв толщиной в 10 см., считая с поверхности земли, облачность и другие метеорологические элементы.

Результаты обработки наблюдательного материала следующие:

1. Температура снегового покрова с глубиной повышается. Температурные колебания с глубиной уменьшаются и проникают в более глубокие слои снегового покрова с некоторым запаздыванием.

2. Плотность снега с глубиной возрастает, абсолютная величина температурного градиента (изменение температуры на 1 см. глубины) с глубиной уменьшается, причём его величина зависит главным образом от температуры воздуха и до некоторой степени от плотности снега.

3. Колебания температуры поверхности снегового покрова передаются вглубь снегового покрова согласно закону  $y = ae^{-x\sqrt{\pi : \kappa \tau}}$  где  $y$  — амплитуда на глубине  $x$  см.,  $a$  — амплитуда на поверхности снега,  $x$  — коэффициент температуропроводности снега,  $\tau$  — период колебания. Колебания достигают глубины в 30—40 см.

4. Коэффициент температуропроводности снега  $\kappa = 0.0036$ , и коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0.0003$ .

5. Защитная сила снегового покрова тем больше, чем ниже температура воздуха, причём она зависит в первую очередь от температуры воздуха в данный момент, но также, хотя и в меньшей мере, и от общих температурных условий за последние дни.

---

Vastutav toimetaja H. Mürk. Tehniline toimetaja H. Kohu. Korrektorid M. Kindlam ja B. Pravdin. Ladumisele antud 11. V 46. Trükkimisele antud 27. VI 46. Paberi kaust 67×95.1/16. Trükipoognaid 1 1/2. Autoripoognaid 1,07. Arvestuspoognaid 1,39. MB 01631. Laotihedus trpg. 40 100. Tiraaz 2200. Trükikoja tellimus nr. 176. Trükikoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi t. 4. Hind rbl. 2.—

Х. Лийдемаа. Теплообмен снегового покрова.  
На эстонском языке. Эгосиздат „Научная Литература“, Тарту.



**Rbl. 2.—**